

Efektivitas Gelombang Mikro Sebagai Pemanas Pada Reservoir Minyak Berat

Gerry Sasanti Nirmala, Anugerah, Sudjati Rachmat Achmad Munir

Laboratorium Stimulasi Sumur, Teknik Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
Laboratorium Telekomunikasi dan Gelombang Mikro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Abstrak

Pemanfaatan gelombang electromagnet dengan daya dan frekuensi tinggi sangat jarang dilakukan, namun kedua kombinasi ini dapat diterapkan sebagai pemanas pada reservoir minyak berat. Dalam dunia perminyakan, minyak berat didefinisikan sebagai minyak yang memiliki densitas kurang dari 22,3^o API dan memiliki viskositas tinggi yang mengakibatkan reservoir minyak berat sulit untuk mengalir. Salah satu cara yang efektif untuk memproduksi minyak berat adalah dengan menggunakan teknik *thermal recovery*. Pada penelitian ini gelombang mikro yang digabungkan dengan fluida *nano ferro* digunakan untuk memanaskan minyak tersebut. Dengan teknik ini, gelombang mikro akan memanaskan partikel-partikel air dan fluida *nano ferro* yang berada di reservoir kemudian memanaskan minyak sehingga viskositasnya turun. Penelitian ini dilakukan berdasarkan eksperimen di laboratorium dengan cara mensimulasikan reservoir dalam bentuk *sandpack* untuk pemanasan gelombang mikro. Dari proses pemanasan gelombang mikro ini juga diketahui bahwa laju pemanasan berbanding lurus dengan daya keluaran dan konsentrasi *nano ferro*.

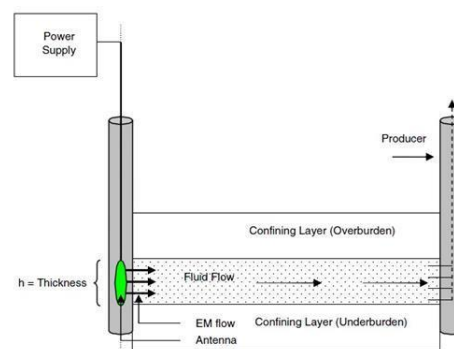
Kata kunci: Minyak berat, pemanasan gelombang mikro, *nano ferro*, viskositas

1. Pendahuluan

Gelombang elektromagnetik adalah perpaduan antara gelombang elektrik dan gelombang magnetik yang merambat dengan fasasama sehingga menciptakan suatu bentuk energi panas. Pada pemanasan reservoir menggunakan elektromagnetik, gelombang diradiasikan dari elektrode-elektrode ke dalam formasi minyak, adanya fluida dan material dalam formasi menciptakan hambatan bagi aliran sehingga intensitas rambatan gelombang menurun dan mengubah energi menjadi panas^[1].

Ada dua metode pemanasan reservoir minyak menggunakan gelombang elektromagnetik yaitu *counter-current flow* dan *co-current flow*^[2]. Pada metode *counter-current flow*, pemanasan dilakukan pada satu sumur produksi yang sama. Pada kondisi ini pemanas dipasang pada sumur dan produksi dilakukan bila minyak sudah mencair. Metode kedua adalah *co-counter flow* dimana metode ini dilakukan

pada dua sumur minyak yang berdekatan dimana satu sumur berlaku sebagai sumur injeksi dan sumur yang lain berlaku sebagai sumur produksi, seperti tampak dalam gambar 1. Pada sumur injeksi pemanas dipasang untuk menginduksi sumur produksi hingga minyak mencair dan dapat diproduksi.



Gambar 1. Pemanasan elektromagnetik untuk *co-current flow*^[2]

Pemanasan dengan gelombang elektromagnetik bisa dilakukan dengan dua metode yaitu menggunakan frekuensi rendah (50 Hz berupa gelombang listrik) dan menggunakan frekuensi tinggi (2450 MHz berupa gelombang mikro).

Pemanasan dengan frekuensi rendah (sering disebut *Ohmic Heating*) terjadi bila arus AC melalui mekanisme konduksi ionik, dialirkan melalui reservoir minyak dan energi listrik diubah menjadi panas. Ciri pemanasan dengan metode ini yaitu kedalaman penetrasi dari gelombang tinggi namun intensitasnya rendah. Artinya area yang terkena dampak pemanasan luas namun suhu pemanasan yang dihasilkan rendah. Sedangkan penggunaan gelombang dengan frekuensi tinggi, biasa disebut gelombang mikro, adalah gelombang elektromagnet yang memiliki panjang gelombang 1 cm hingga 1 m atau memiliki frekuensi yang sama dengan 300 MHz hingga 30 GHz^[3]. Pada pemanasan menggunakan gelombang mikro, gelombang mikro dipilih karena memiliki frekuensi yang tinggi sehingga apabila meradiasi partikel-partikel polar yang terdapat di reservoir, misalnya air dan atau *nano ferro*, akan mengakibatkan perubahan dipol sehingga partikel tersebut berosilasi dan menghasilkan panas.

Untuk memperoleh temperatur pemanasan yang lebih

tinggi, secara umum dapat dilakukan dengan menaikkan daya pembangkitan atau menambah waktu pemanasan namun cara ini dapat berdampak pada nilai keekonomian dari produksi minyak. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efektifitas pemanasan gelombang mikro tanpa menambah daya maka ditambahkan fluida nano kedalam reservoir. Fluida nano merupakan brine yang dicampurkan dengan partikel nano yang memiliki sifat kemagnetan yang baik. Fluida nano ini berperan sebagai tambahan partikel polar pada reservoir yang dapat sebagai akibat radiasi gelombang mikro sehingga menghasilkan panas. Dengan beresilainya partikel nano ini diharapkan dapat diperoleh temperatur reservoir yang lebih tinggi tanpa adanya kenaikan daya.

2. Persamaan Pemanasan

2.1 Koefisien Serapan^[4]

Untuk media rambat yang linier dan homogen dengan arah radiasi medan +x, serapan yang terjadi akan mengikuti persamaan 1, yaitu:

$$\frac{d\phi(x)}{dx} = -\alpha \phi(x) \tag{1}$$

Koefisien serapan daya (α) bergantung pada karakteristik dari media yang menyerap medan listrik tersebut yang diperlihatkan pada persamaan 2 yaitu:

$$\alpha = 0,02 \alpha_0 \tag{2}$$

dan

$$\alpha_0^2 = \frac{\omega^2 \pi \epsilon}{z} \left\{ \left(1 + \left[\frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right]^2 \right)^{\frac{3}{2}} - 1 \right\} \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan di atas tampak bahwa koefisien serapan adalah gabungan dari beberapa fungsi karakteristik batuan yaitu konduktifitas, permeabilitas, permitivitas dan fungsi frekuensi dari radiasi medan elektromagnetik. Persamaan umum perubahan temperatur untuk pemanasan elektromagnetik pada sumur minyak diperlihatkan pada persamaan 4, yaitu:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{2\pi r h \rho_t C_{pt}} \left\{ \left(\rho_o q_o C_{po} \frac{\partial T}{\partial t} \right) + \left(\frac{P_o}{r} e^{-\alpha(r-r_o)} \alpha \right) \right\} \tag{4}$$

2.2 Evaluasi Penurunan Viskositas Minyak

Berdasarkan persamaan pemanasan elektromagnetik yang terdapat pada persamaan 4, persamaan tersebut dapat dijadikan dalam bentuk gradien temperatur terhadap waktu yang ditunjukkan pada persamaan 5 yaitu:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{2\pi r h \rho_t C_{pt}} \left(\frac{P_o}{r} e^{-\alpha(r-r_o)} \alpha \right) \left\{ 1 - \frac{1}{2\pi r h \rho_t C_{pt}} (\rho_o q_o C_{po}) \right\} \tag{5}$$

Dengan tidak ada aliran minyak selama pemanasan

sandpack berlangsung, $q_o = 0$, maka dapat diperoleh temperatur pada jarak dan waktu tertentu seperti ditunjukkan pada persamaan 6 yaitu:

$$T_t(r, t_t) = (\alpha e^{-\alpha(r-r_o)}) \frac{P_o t_t}{(2\pi r h \rho_t C_{pt}) r} + T_o \tag{6}$$

Mengingat C_{pt} dan α adalah konstanta bahan dari *sandpack* dan C_{pt} dan α tidak dapat diukur karena keterbatasan peralatan maka konstanta bahan dari *sandpack* didefinisikan seperti persamaan 7 yaitu:

$$\frac{C_{pt}}{\alpha e^{-\alpha(r-r_o)}} = \frac{P_o t_t}{(2\pi r^2 h \rho_t)(T_t - T_o)} \tag{7}$$

2. Konfigurasi Pemanasan Dengan Gelombang Mikro

Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan reservoir dalam bentuk *sandpack*. *Sandpack* dibuat dari mencampurkan pasir silica berukuran 45-50 mesh dengan campuran fluida yang terdiri dari minyak mentah dengan densitas 22 °API, brine dengan densitas 1,024 gr/ml dan salinitas 15.793 mg/l, emulsifier berbasis minyak dan nanopowder berupa jenis bubuk hematit (α -Fe₂O₃) atau disebut juga sebagai *nanoferro* dengan ukuran partikel < 50 nm. *Emulsifier* dipergunakan agar air menjadi fasa terdispersi dan minyak menjadi fasa pendispersi sehingga dapat diasumsikan bahwa air terdispersi secara homogen di dalam minyak. Komposisi dari *sandpack* dapat dilihat dari tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi *sandpack*.

Parameter	Nilai
Bulk Volume pasir (ml)	500
Volume fluida (ml)	160
Volume brine (ml)	32
Volume minyak (ml)	123,3
Volume emulsifier (ml)	4,8

Fluida *nano ferro* dibuat dengan mencampurkan *brine* dengan bubuk hematit. Berdasarkan penelitian Santoso^[5], maka pada eksperimen ini dipilih konsentrasi *nano ferro* sebesar 14 ppm, 10 ppm, dan tanpa *nano ferro*. *Brine* dan *nano ferro* dicampur menggunakan *sonicator* selama 20 menit. *Sandpack* tersebut akan dipanaskan menggunakan gelombang mikro untuk melihat perubahan temperatur yang berpengaruh pada perubahan viskositas minyak.

2.1 Peralatan Riset

2.1.1 Rangkaian Pembangkit Gelombang Mikro

Rangkaian pembangkit gelombang mikro yang dipakai diambil dari *microwave oven* model P90D23L-ZS^[6]. Daya masukan untuk rangkaian ini sebesar 1300 Watt dengan daya keluaran maksimum sebesar 900 Watt.

2.1.2 Magnetron Gelombang Mikro

Gelombang mikro dipancarkan oleh magnetron ini memiliki frekuensi 2,45 GHz dan bekerja di beberapa variasi daya yaitu 20%, 42%, 52%, 73%, 88%, dan 100% atau sama dengan 180 Watt, 378 Watt, 468 Watt, 657 Watt, 792 Watt, dan 900 Watt.

2.1.3. Wadah Sandpack

Wadah *sandpack* dibuat dari gelas kaca berbentuk tabung dengan tinggi 9 cm dan diameter dalam 8,56 cm yang dilengkapi dengan tutup berbentuk kerucut. Di bagian samping wadah dibuatkan saluran dengan jarak vertikal antar saluran sebesar 2 cm. Saluran ini berfungsi untuk memasukkan termometer ketika wadah diisi dengan *sandpack*.

2.1.4. Waveguide

Konfigurasi *waveguide* dari *microwave oven* yang berasal dari pabrik berbentuk persegi panjang, dengan ukuran 8 cm × 3,5 cm, sedangkan wadah *sandpack* yang akan dipergunakan berbentuk tabung dan pemanasan akan dilakukan dari bagian bawah wadah *sandpack* maka harus dibuat *waveguide* baru yang berbentuk lingkaran agar dapat bersesuaian dengan bentuk dari alas wadah *sandpack* dengan diameter luar sebesar 8,9 cm maka dipergunakan *waveguide* lingkaran dengan jari-jari (r_w) sebesar 5 cm.

Magnetron, *waveguide*, dan wadah *sandpack* akan disusun berurutan maka gelombang mikro akan dipancarkan dalam mode TM. Untuk *waveguide* berbentuk lingkaran, persamaan *cut off* dari *wavenumber* dan persamaan *cut off* dari panjang gelombang untuk mode TM adalah

$$\beta_{c,nm} = \frac{p_{nm}}{r_w} \quad (10)$$

$$\lambda_{c,nm} = \frac{2\pi r_w}{p_{nm}} \quad (11)$$

Untuk mengetahui nilai *cut off* frekuensi (f) dari *waveguide* lingkaran yang dipergunakan maka dipilih nilai p_{nm} terkecil dari tabel nilai p_{nm} [3] yaitu 2,405 untuk dimasukkan ke persamaan (10) sehingga diperoleh nilai *cut off* frekuensi sebesar 2,29 GHz. Nilai *cut off* frekuensi ini masih berada dibawah frekuensi keluaran magnetron sehingga dapat diketahui bahwa dengan dipergunakannya *waveguide* lingkaran dengan diameter 10 cm maka frekuensi 2,45 GHz tetap dapat diradiasikan.

2.3 Desain Pemanasan

Desain proses pemanasan dalam riset ini menggunakan konfigurasi sama dengan yang dilakukan dalam riset pemanasan Erdila Indriyani [7].

2.4 Uji Pemanasan

Untuk pemanasan, magnetron, *waveguide*, *sandpack*, dan termometer dirangkai terlebih dahulu, selanjutnya rangkaian pembangkit gelombang mikro dihubungkan dengan magnetron. Pemanasan gelombang mikro dilakukan dengan tiga jenis konsentrasi *nano ferro* yang berbeda yaitu 14 ppm,

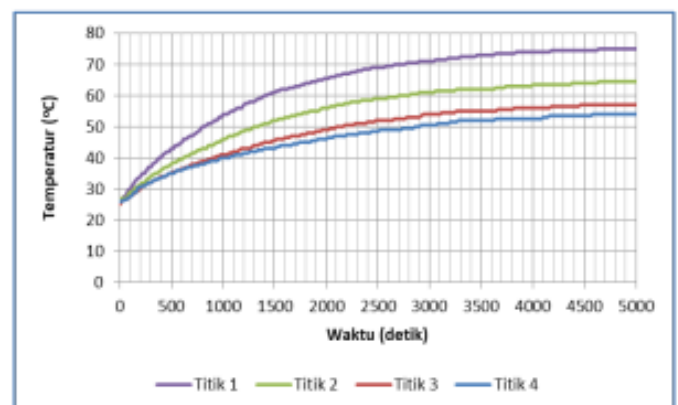
10 ppm, dan tanpa *nano ferro*. Untuk masing-masing konsentrasi *nano ferro* dilakukan pemanasan dengan menggunakan beberapa variasi daya keluaran yaitu 180 Watt, 378 Watt, 468 Watt, 657 Watt, 792 Watt, dan 900 Watt. Pada eksperimen ini proses pemanasan dilakukan dari suhu 25 °C hingga salah satu titik pengukuran yang mencapai 90 °C. Selama proses pemanasan, perubahan temperatur terhadap waktu dicatat per 20 detik untuk setiap konsentrasi *nano ferro* dan daya keluaran.

3. Hubungan Daya Keluaran, Konsentrasi Nano Ferro, dan Kecepatan Pemanasan

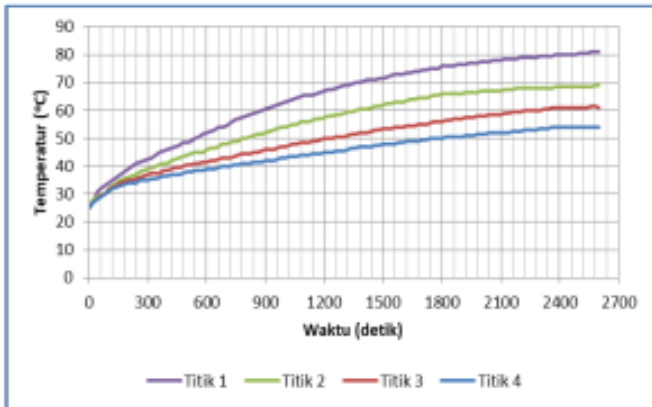
Eksperimen dilakukan dengan memanaskan *sandpack* dengan konsentrasi *nano ferro* 14 ppm, 10 ppm, dan tanpa *nano ferro* pada daya keluaran 900 Watt, 792 Watt, 657 Watt, 468 Watt, 378 Watt, dan 180 Watt hingga ada titik pengukuran yang mencapai 90 °C. Pada daya keluaran yang sama apabila konsentrasi *nano ferro* semakin tinggi maka waktu yang diperlukan untuk mencapai 90 °C akan semakin singkat.

Dari informasi ini dapat dikatakan bahwa kecepatan pemanasan berbanding lurus dengan konsentrasi *nano ferro* dan daya keluaran gelombang mikro [8]. Apabila data pemanasan yang diperoleh dari eksperimen ini dibandingkan dengan data pemanasan dari eksperimen sebelumnya yaitu Pramana [9], pemanasan dengan gelombang mikro dapat mencapai temperatur yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini disebabkan karena daya dan frekuensi gelombang mikro yang tinggi.

Untuk mengetahui konsentrasi *nano ferro* minimum yang diperlukan untuk pemanasan ini, maka dilakukan pengambilan data dengan daya keluaran 180 Watt terlebih dahulu. Diketahui bahwa pada daya 180 Watt hanya pada konsentrasi 14 ppm saja Titik-1 dapat mencapai 90 °C sedangkan pada konsentrasi 10 ppm dan saat pemanasan tanpa *nano ferro* hanya mencapai temperatur 81 °C dan 75 °C seperti ditunjukkan pada gambar 2 dan 3 yang terlebih dahulu telah divalidasi menggunakan regresi linier.



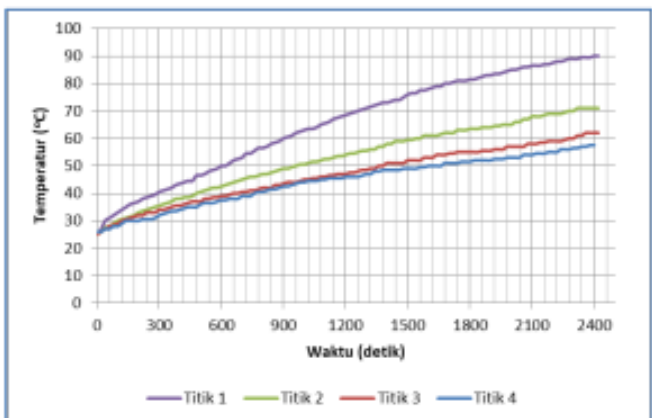
Gambar 2. Pemanasan gelombang mikro tanpa *nano ferro* dan daya keluaran 180 Watt.



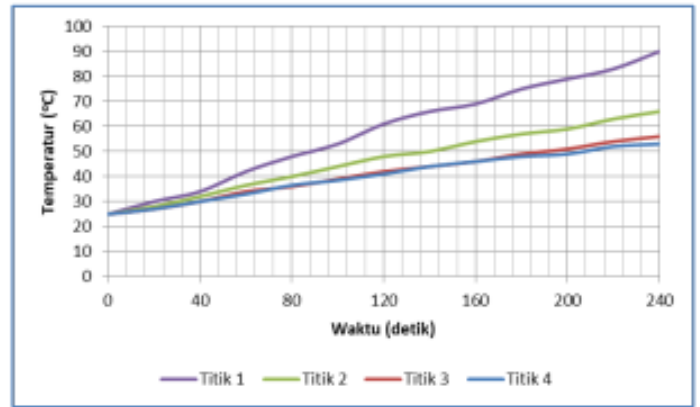
Gambar 3. Pemanasan gelombang mikro dengan konsentrasi nano ferro 10 ppm dan daya keluaran 180 Watt.

Konsentrasi nano ferro 10 ppm dan tanpa nano ferro dengan daya keluaran 180 Watt tidak bisa mencapai temperatur 90 °C, hal ini menunjukkan bahwa komposisi ini tidak bisa digunakan untuk mencairkan minyak maka selanjutnya dilakukan pemanasan untuk konsentrasi nano ferro 14 ppm. Hal ini sesuai dengan persamaan (7) dimana nilai $\frac{c_{pt}}{\alpha e^{0,06\alpha}}$ dapat diperoleh sebesar $16.874 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ C}$.

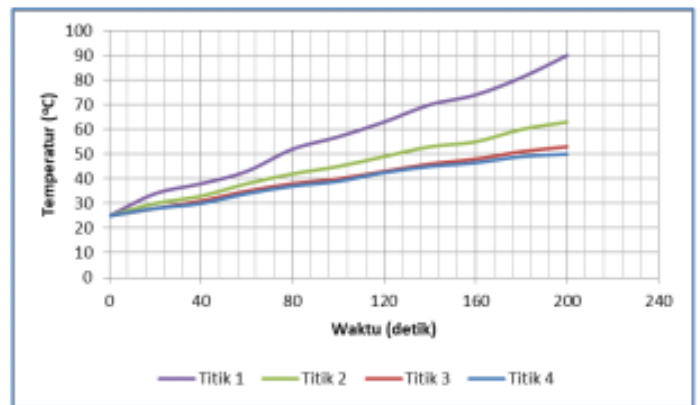
Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa untuk $\frac{c_{pt}}{\alpha e^{0,06\alpha}} > 16.874 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ C}$, pada frekuensi 2,45 GHz dan konsentrasi nano ferro < 14 ppm, tidak efektif untuk pemanasan gelombang mikro sedangkan untuk $\frac{c_{pt}}{\alpha e^{0,06\alpha}} \leq 16.874 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ C}$, pada frekuensi 2,45 GHz dan konsentrasi nano ferro ≥ 14 ppm, efektif untuk pemanasan gelombang mikro. Data pemanasan untuk konsentrasi nano ferro 14 ppm dapat dilihat pada gambar 4 hingga gambar 9 berikut :



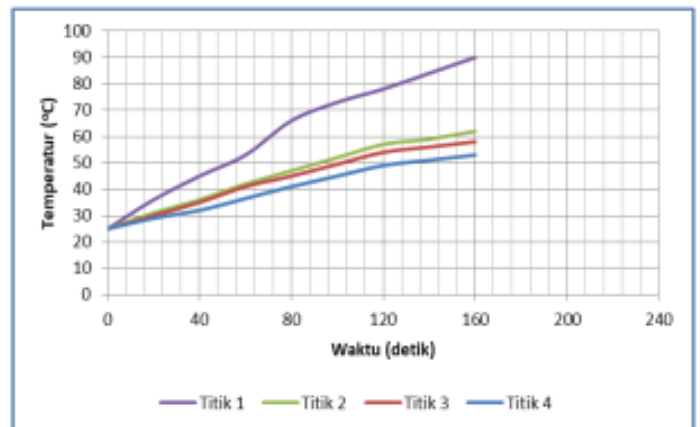
Gambar 4. Pemanasan gelombang mikro dengan konsentrasi nano ferro 14 ppm dan daya keluaran 180 Watt.



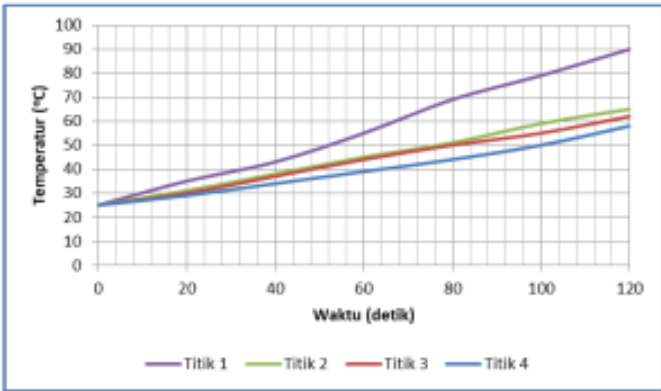
Gambar 5. Kurva pemanasan konsentrasi nano ferro 14 ppm & daya 378 Watt.



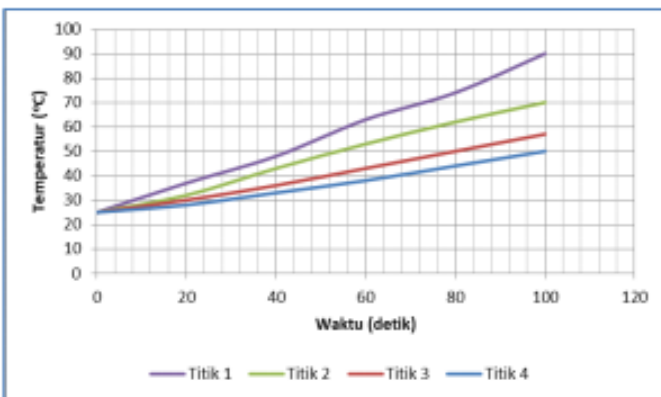
Gambar 6. Kurva pemanasan konsentrasi nano ferro 14 ppm & daya 468 Watt.



Gambar 7. Pemanasan gelombang mikro dengan konsentrasi nano ferro 14 ppm dan daya keluaran 657 Watt.

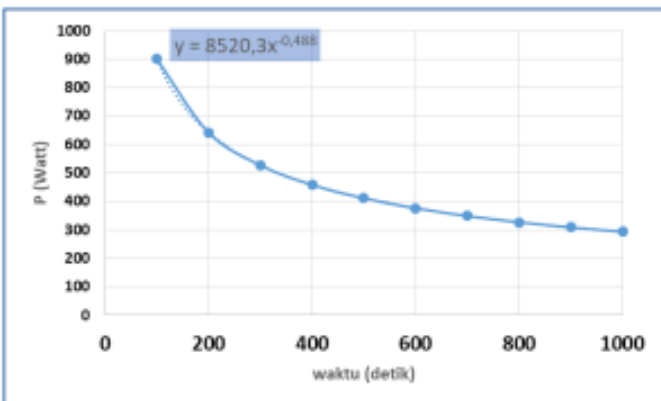


Gambar 8. Kurva pemanasan konsentrasi nano ferro 14 ppm & daya 792 Watt.



Gambar 9. Pemanasan gelombang mikro dengan konsentrasi nano ferro 14 ppm dan daya keluaran 900 Watt.

Dari gambar 4 sampai dengan 9, tampak bahwa pada konsentrasi yang sama yaitu 14 ppm, pemanasan minyak dengan daya keluaran lebih tinggi menghasilkan kenaikan suhu yang lebih cepat pula. Hubungan antara daya keluaran dengan waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 90 °C ditampilkan dalam grafik sebagai berikut :



Gambar 10. Hubungan antara daya keluaran dengan waktu pemanasan

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari riset ini, maka didapatkan kesimpulan bahwa koefisien serapan adalah

gabungan dari fungsi karakteristik batuan yang terdiri dari konduktifitas, permeabilitas, permitivitas dan fungsi frekuensi dari radiasi medan elektromagnetik. Kecepatan kenaikan temperatur sandpack untuk mencapai suhu 90 °C berbanding lurus dengan besar daya keluaran gelombang mikro dan konsentrasi nano ferro. Nanopowder jenis ferro oxide terbukti mampu mempercepat kenaikan suhu pemanasan pada sandpack dengan konsentrasi sebesar 14 ppm. Eksperimen ini dilakukan dalam skala laboratorium dan dengan metode riset yang sama dapat dilakukan riset lanjutan untuk aplikasi di sumur minyak sebenarnya.

Ucapan Terima Kasih

Hasil analisa data pada riset ini disponsori oleh Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat, dan Inovasi (P3MI) tahun 2017 Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

Referensi

- [1] Amit Chakma, *Heavy Oil Recovery From Thin Pay Zones by Electromagnetic Heating*, SPE 24817, 1992.
- [2] Carrizales, M., Lake, L. W., & Johns, R. *Production Improvement of Heavy-Oil Recovery by Using Electromagnetic Heating*, SPE-115723, 2008.
- [3] Collin, R. E. (1992). *Foundations For Microwave Engineering*. McGraw Hill, Singapore, 1992.
- [4] Abernethy, E. R. *Productions Increase of Heavy Oils By Electromagnetic Heating*. The Journal of Canadian Petroleum Technology, 91-97, 1976
- [5] Santoso, R. K., Rachmat, S., Resha, A. H., Putra, W. D., Hartowo, H., & Setiawati, O. *An Investigation of Fe₂O₃ Nanoparticles Diffusion into Oil for Heat Transfer Optimisation on Electromagnetic Heating for Well Stimulation*. SPE-182182-MS, 2016
- [6] Buku Petunjuk Penggunaan Microwave Oven Tungku Gelombang Micro Model: P90D23L-ZS. (n.d.), PT ACE Hardware, Jakarta, Indonesia, 2016
- [7] Erdila Indriyani, Anugerah, Sudjati Rachmat, Achmad Mumir. *Microwave Heating With Nano Ferro Fluid for Heavy Oil Application*, PIERS Symposium, IEEE, Singapore, 2017.
- [8] Pramana, A. A. *Pemanasan Induksi Elektromagnetik menggunakan Media Ferrofluid untuk Peningkatan Produksi Minyak Berat*. Bandung, 2012.